

# AGROFORESTERIE ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES EN ZONE TROPICALE

Josiane Seghieri et Jean-Michel Harmand, coordinateurs



## Chapitre 6

# Compromis entre séquestration de carbone, conservation et productivité dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers au Centre-Cameroun

SAJ S., JAGORET P., MVONDO SAKOUMA K., ESSOBO J.-D.,  
BOUAMBI E. ET TODEM-NGOGUE H.

**Résumé.** Les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre-Cameroun présentent des niveaux de stockage de carbone (C), de conservation d'espèces d'arbres et de production de cacao intéressants. Les services de conservation et de stockage de carbone peuvent s'y révéler synergiques, mais ils semblent tous les deux antagonistes des niveaux de production supérieurs à une tonne/ha de fèves de cacao marchand. Le stockage de carbone peut néanmoins être découplé de la conservation car dans ces systèmes, il est principalement réalisé par de très grands arbres. Ainsi, un nombre réduit d'individus peut suffire à atteindre des stocks de 100 t C/ha. La conservation des espèces ligneuses apparaît, quant à elle, dépendante du niveau de multifonctionnalité que les agriculteurs attendent de leurs systèmes agroforestiers à base de cacaoyers. Par ailleurs, les systèmes ayant des niveaux de stockage de carbone élevés ou moyens semblent être en mesure de soutenir une production cacaoyère intéressante au-delà de 40 ans (0,75 à 1 t/ha cacao marchand). Les travaux présentés permettent de distinguer trois groupes de systèmes agroforestiers à base de cacaoyers : simples, peu durables et peu multifonctionnels, mais avec de bonnes capacités de production de cacao ; complexes, plus durables avec des niveaux de stockage de carbone et de production de cacao intéressants, mais peu de capacité de conservation ; très complexes avec de bons niveaux de stockage de C et de conservation, mais limités en production de cacao. Ces trois groupes, correspondant à des situations réelles, ils permettent de mieux cibler les intervalles dans lesquels des compromis entre services écosystémiques sont acceptables.

**Abstract.** Cocoa-based agroforestry systems (cAFS) from Central-Cameroon showed interesting levels of carbon storage (C), tree species conservation and cocoa production.

Carbon storage and species conservation services may prove to be synergistic but both were found antagonistic to cocoa production levels above 1 t/ha. Carbon storage could also be decoupled from conservation because in these systems the former was mainly carried out by very large trees. Hence, a small number of individuals could support stocks of 100 t/ha. Species conservation appeared to be dependent on the level of multifunctionality that farmers expect from their cAFS. In addition, cAFS with high or average carbon storage levels seemed able to sustain an interesting cocoa production (0.75 to 1 t/ha) beyond 40 years. The herein highlighted studies allow to distinguish 3 groups of cAFS: (i) simple, poorly sustainable, poorly multifunctional, yet with good cocoa production capacity; (ii) complex, more sustainable with interesting levels of carbon storage and cocoa production but little conservation capacity; (iii) very complex with good levels of storage and conservation abilities but limited in cocoa production. These three groups, corresponding to real situations, make it possible to better target the intervals in which it is possible to obtain acceptable trade-offs between ecosystem services.

## ► Contexte et enjeux autour des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers

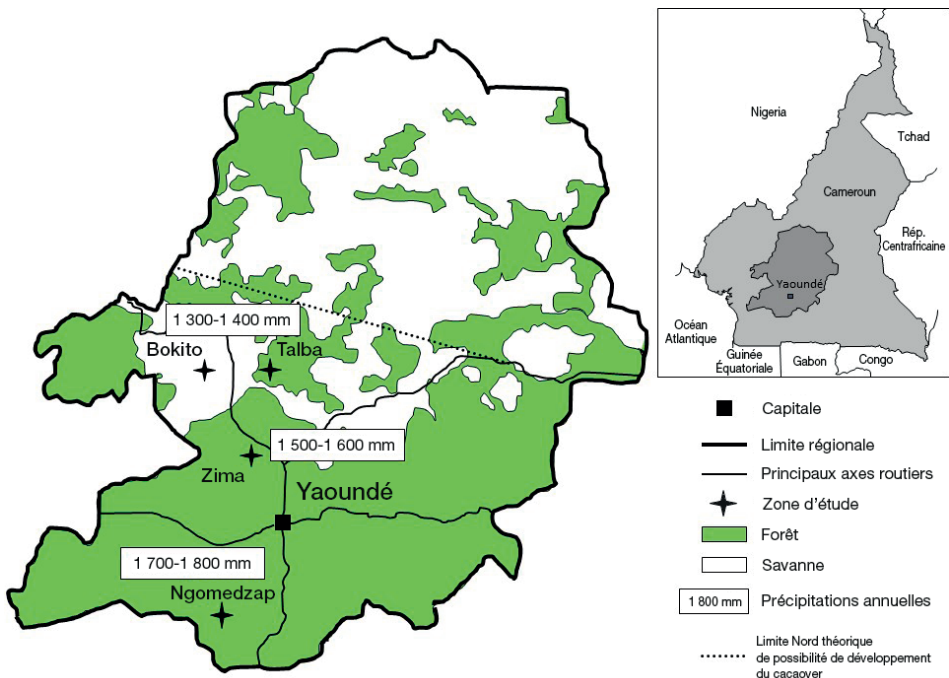
La production mondiale de cacao est aujourd'hui de l'ordre de 4 à 4,5 millions de tonnes par an (Icco, 2016). Elle est en grande partie (environ 80 %) le fruit du travail de petits agriculteurs dont les vergers excèdent rarement les cinq-six hectares (Jagoret, 2011). Cependant, la cacaoculture est ou a été une cause majeure de déforestation dans certaines régions du monde, notamment en Afrique (Cleaver, 1992). En effet, les conditions économiques d'exploitation et les modes de gestion des cacaoyères mises en place par exemple en Côte d'Ivoire ou au Ghana — les deux premiers pays producteurs mondiaux — ont incité, de façon cyclique, beaucoup d'agriculteurs à migrer vers des fronts pionniers. Ces migrants ont ainsi profité d'une « rente forestière » pour la création à moindre coût de nouvelles cacaoyères, leur évitant ainsi le surcoût du renouvellement des anciens vergers en perte de rendement (Ruf, 1995).

Les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers, qui mêlent cacaoyers et plusieurs autres espèces pérennes ayant des fonctions et usages divers, sont souvent qualifiés de « complexes » (Clough *et al.*, 2009; Somarriba *et al.*, 2013). Cette complexité semble limiter la déforestation et l'érosion de la biodiversité qui sont associées à la cacaoculture, tout en maintenant une production durable de cacao.

Dans la région Centre du Cameroun, qui produit du cacao depuis plus d'une centaine d'années, des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers en forêt sont installés après abattis-brulis partiel du couvert forestier. Lors du défrichement, quelques arbres forestiers sont conservés (fruitiers indigènes, espèces médicinales et espèces ligneuses) pour assurer un ombrage aux jeunes cacaoyers et pour leur valeur économique. L'association de cultures annuelles (*Zea mais*, *Arachis hypogaea*, *Xanthosoma sagittifolium*, etc.) et de cultures pluriannuelles (*Manihot esculenta* et *Musa paradisiaca*) est également pratiquée sur quelques cycles. Dans le même temps, les agriculteurs introduisent plusieurs espèces fruitières dans le système de culture (*Elaeis guineensis*, *Citrus sinensis*, *Dacryodes edulis*, *Cola acuminata*, etc.) Ces espèces croissent en association avec les cacaoyers et les espèces forestières conser-

vées (Jagoret *et al.* 2009). Ces systèmes sont exploités avec très peu d'intrants par rapport au modèle conventionnel recommandé (Jagoret *et al.*, 2011). Leur durabilité semble basée sur le maintien d'un équilibre stratégique entre les peuplements cacaoyers et les communautés d'arbres associés. Cependant, le potentiel productif de ces systèmes est peu étudié et mal évalué aujourd'hui. Par ailleurs, le Centre-Cameroun abrite encore des espaces forestiers protégés, proposés à la protection ou non protégés (Agter, 2012) pouvant servir de références essentielles en particulier à l'évaluation du niveau des services de stockage de carbone (C) et de conservation de la biodiversité qu'offrent les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers. Ces informations seront alors très utiles pour la prise de décision concernant les politiques à mener dans les zones de production cacaoyère.

Dans un premier temps, ce chapitre résume les principaux résultats du projet Safse (Compromis entre production et autres services écosystémiques dans les systèmes agroforestiers, Cirad/IRD) sur les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre-Cameroun pour «trois services» : conservation d'espèces ligneuses, stockage de carbone (C) et production de cacao. Dans un deuxième temps, il traite des compromis et des synergies entre ces services. Afin de travailler sur des gradients d'association intéressants, trois zones ont été particulièrement étudiées afin d'obtenir l'échantillonnage le plus large possible en termes d'âges des cacaoyères et de niveaux d'ombrage pour des conditions pédoclimatiques relativement proches (fig. 6.1 ; Jagoret, 2011 ; Pédelahore, 2012).



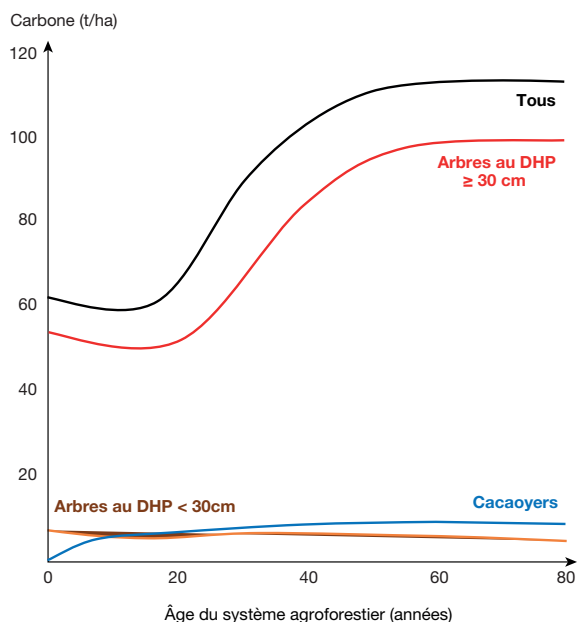
**Figure 6.1.** Carte de la région Centre du Cameroun et localisation des trois zones d'échantillonnage (Bokito et Talba, Zima, Ngomedzap) des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers.

## ► Les services écosystémiques étudiés au Centre-Cameroun

### Le stockage de carbone

Le projet Safse s'est particulièrement intéressé au stockage de carbone (C) dans la biomasse ligneuse des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre-Cameroun. Dans les résultats présentés ici, le stock de carbone des sols et des végétaux non ligneux n'est pas pris en compte. La méthode de calcul du stockage de carbone dans la biomasse arborée de ces systèmes a reposé sur des inventaires d'arbres et de leurs dimensions (hauteur, diamètre du tronc à 130 cm de hauteur), ainsi que de l'application de relations allométriques (Saj *et al.*, 2013).

Lors de la mise en place de la cacaoyère en forêt, un déstockage important de carbone intervient. Puis, tout au long de la croissance des cacaoyers et des arbres associés, le stockage de carbone augmente jusqu'à atteindre parfois un niveau proche de celui d'un système forestier (fig. 6.2; Saj *et al.*, 2017a). Il s'avère cependant que ce stockage est principalement le fait des grands arbres ayant un diamètre supérieur à 30 cm qui sont favorisés tout au long de la vie de la cacaoyère. Le stockage de carbone dans la biomasse des peuplements cacaoyers reste marginal, il est comparable au stockage des arbres associés de petite taille (au diamètre < 30 cm). La dynamique de (re)stockage devient positive environ 20 ans après la mise en place des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers, puis elle stagne après 60 ans.



**Figure 6.2.** Dynamique de stockage de carbone dans la biomasse ligneuse de systèmes agroforestiers à base de cacaoyers au Centre-Cameroun.

Moyennes obtenues à partir d'un échantillonnage de 144 parcelles (Saj *et al.*, 2017a). DHP : diamètre à hauteur de poitrine.

La pérennisation sur le long terme du stockage de carbone dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers dépend donc du devenir des grands arbres associés aux cacaoyers. Dans la stratégie de mise en place puis d'entretien de ces systèmes, ces grands arbres occupent plusieurs fonctions pour les agriculteurs. Ils permettent un ombrage plus léger et plus homogène de la cacaoyère comparé à celui des arbres de taille plus modeste. Certains de ces arbres possèdent également des caractéristiques régulièrement considérées comme positives par les planteurs pour la production cacaoyère : amélioration de la fertilité du sol ou mitigation de la ressource en eau (*Ceiba pentandra*, *Ficus mucoso*) (Jagoret *et al.*, 2014). Enfin, ces grands arbres présentent souvent une qualité de bois qui les rendent intéressants à la vente ou à l'utilisation en tant que bois d'œuvre (*Entandrophragma cylindricum*, *Terminalia superba*) (Saj *et al.*, 2017a). Même pour les systèmes les plus simples — densités inférieures ou proches de 30 arbres associés/ha —, ces grands arbres sont toujours présents. *A contrario*, la densité des arbres de moindre diamètre (inférieur à 30 cm) a tendance à diminuer avec l'âge de la cacaoyère. Ce sont ces arbres qui sont davantage éliminés lors de la simplification des parcelles agroforestières (Saj *et al.*, 2017a).

En conclusion, la pérennisation des niveaux élevés de stockage de carbone rencontrés dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre-Cameroun dépend, bien qu'indirectement, de la pérennisation et de la gestion à long terme des cacaoyers en leur sein. La substitution de la composante cacaoyère par une autre culture, à l'image de ce qui est observé en Côte d'Ivoire avec l'hévéa par exemple (Ruf, 1995), représente actuellement le plus grand risque de perte de carbone dans ces systèmes.

## La conservation des essences forestières

Dans le cadre du projet Safse, l'étude des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre-Cameroun s'est focalisée sur les capacités de conservation de leur communauté ligneuse. Une des spécificités de ces systèmes du Centre-Cameroun réside dans le fait qu'ils sont composés d'un grand nombre d'espèces associées aux cacaoyers. Ces espèces sont représentées par des nombres d'individus assez réduits, surtout lorsqu'il s'agit d'essences forestières (Jagoret, 2011 ; Saj *et al.* 2017a). Notre analyse a porté sur 11,4 ha de systèmes agroforestiers à base de cacaoyers et 1,4 ha de témoins forestiers (forêts secondaires sans cacaoyers). Plus de 3000 arbres associés aux cacaoyers ont été comptabilisés dans 147 cacaoyères agroforestières, pour un nombre total de 192 espèces. Cette richesse spécifique est cependant à pondérer en fonction du degré de complexité des systèmes observés rencontrés et des zones étudiées (Bokito, Ngomedzap et Talba). En moyenne, les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers comportent 10 à 30 essences associées/ha pour des densités variant de 30 à plus de 200 arbres/ha. Néanmoins, ces chiffres sont inférieurs aux estimations réalisées pour les systèmes forestiers de cette région : plus de 135 espèces inventoriées en forêt pour une surface échantillonnée d'environ dix fois moindre. Mais il est tout de même intéressant de noter que la proportion d'espèces ayant un enjeu de conservation (selon le statut de la liste rouge de l'IUCN) est de l'ordre de 20 %, à la fois dans les forêts et dans toutes les classes d'âge des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers (Saj *et al.*, 2017a).



Il apparaît donc que les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers ne sont pas en mesure de pérenniser le milieu forestier. Cependant, comparés à d'autres systèmes de culture, ils représentent un des systèmes agricoles les plus divers qui soient. En outre, ils présentent l'avantage de permettre la conservation de nombreuses espèces rencontrées dans les zones forestières du Centre-Cameroun. Par conséquent, ces systèmes possèdent des caractéristiques utiles à des actions conservationnistes et peuvent constituer des zones tampons efficaces. En effet, ils permettent la préservation tout au long de leur vie de nombreux arbres appartenant à des espèces confrontées à des enjeux de conservation. Il a d'ailleurs été récemment émis l'hypothèse que pour certaines de ces espèces, le potentiel de conservation dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers pourrait se révéler plus intéressant que dans les forêts exploitées (Abada Mbolo *et al.*, 2016). Enfin, ces systèmes comprennent également d'autres espèces dont les enjeux de conservation ne sont pas encore déterminés.

Le potentiel écologique des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre-Cameroun dépend néanmoins de la densité des arbres associés aux cacaoyers. Ainsi, contrairement au stockage de carbone, la simplification de ces systèmes conduirait à une diminution drastique de ce potentiel. Dans les parcelles agroforestières échantillonnées, lorsque le nombre d'individus associés passe de plus de 200 à moins de 50 individus/ha (différence entre les systèmes agroforestiers complexes et simples), le nombre d'espèces associées a diminué de plus de 70 % et les indices de diversité alpha<sup>1</sup> d'environ 50 % (Saj *et al.*, 2017a). Aussi, le potentiel de conservation des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers dépend de leur nature multifonctionnelle, les arbres qui y sont conservés possédant chacun un ou plusieurs usages (Jagoret *et al.*, 2014). Si l'usage des arbres associés est uniquement orienté vers l'ombrage et le maintien de la fertilité du sol pour la cacaoculture, comme dans le cas d'une faible densité d'arbres associés (< 50 individus/ha), les espèces à usages locaux et traditionnels sont amenées à disparaître, par exemple les espèces médicinales *Drypetes staudtii* et *Massularia acuminata*. Or, la plupart de ces espèces présentent un enjeu de conservation reconnu ou indéterminé à ce jour.

Ainsi, la pérennisation des capacités de conservation en essences forestières des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers au Centre-Cameroun dépend de la stabilité sur le long terme des modes d'exploitation extensifs et multifonctionnels qui y sont pratiqués (Jagoret *et al.*, 2018).

## La production de cacao des systèmes agroforestiers

L'estimation de la production de cacao des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre-Cameroun a consisté à compter 4 à 5 fois/an les nouvelles cabosses de taille supérieure à 10 cm de longueur (Saj *et al.*, 2017b). Les données de production obtenues correspondent à des rendements que l'on peut qualifier d'«accessibles», c'est-à-dire le rendement maximum que l'on pourrait obtenir si toutes les cabosses dépassant 10 cm de longueur atteignaient la maturité et restaient indemnes d'accidents et de pression parasitaire jusqu'à la récolte. Ce rendement accessible donne

---

1. La diversité  $\alpha$  est une mesure du nombre d'espèces présentes dans un habitat uniforme de taille fixe à un temps donné.

donc une idée du potentiel productif *in itinere* de ces systèmes en permettant de s'abstraire des effets de certaines pratiques des agriculteurs (désherbage et application de pesticides et de fongicides notamment). En effet, ces pratiques peuvent influencer le rendement final en cacao (Saj *et al.*, 2017b). En revanche, le rendement accessible intègre les effets des modalités de mise en place et de gestion des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers que les agriculteurs raisonnent sur le moyen et long terme (Jagoret *et al.*, 2018).

La production sous couvert forestier est dépendante du degré de compétition, d'une part, entre arbres associés et cacaoyers et, d'autre part, entre les cacaoyers eux-mêmes lorsque la densité de plantation est trop importante. Nous avons tenté d'évaluer l'effet de la compétition entre le peuplement cacaoyer et les arbres associés sur le rendement en utilisant la notion de surface terrière<sup>2</sup> (Saj *et al.*, 2017b). Cette approche a permis d'illustrer pour la première fois les rendements en fonction d'un indicateur d'interactions interspécifiques : le rapport de la surface terrière des cacaoyers/la surface terrière totale de la communauté (STC/STT).

Nos résultats montrent une relation significativement positive entre le STC/STT et les rendements accessibles en cacao ( $R^2 = 0,45$  ;  $p = 0,02$ ). De manière générale, il peut être considéré qu'effectivement, la présence d'arbres associés concurrence les cacaoyers. Ces résultats montrent également que la présence d'autres arbres n'explique pas l'ensemble des variations. Ainsi, les rendements dépendent également de l'âge de la parcelle cacaoyère (Saj *et al.*, 2017b). Enfin, les niveaux de rendement accessible obtenus tendent à montrer qu'une meilleure gestion au cours du cycle — par exemple en termes de stratégies de protection ou de prophylaxie sanitaire — pourrait grandement améliorer les rendements réels obtenus ou déclarés, qui se situent régulièrement entre 250 et 750 kg/ha de cacao marchand (Jagoret *et al.*, 2011). Cette amélioration de la gestion pourrait se révéler bien plus payante et durable qu'une diminution de la densité des arbres associés dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers. Par ailleurs, il est remarquable que, malgré un effort d'échantillonnage important, nous n'ayons pas recensé des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers âgés de plus de 60 ans dont la surface terrière relative des cacaoyers était supérieure à 50 % (Saj *et al.*, 2017b). Même s'il reste à valider, ce résultat suggère une limite à ne pas dépasser en termes de diminution du nombre d'arbres associés pour une production sur le long terme et à bas niveau d'intrants.

## ► Les interactions entre services

### Interactions entre conservation des essences forestières et stockage de carbone

Le stockage de carbone (C) et la conservation des essences forestières sont deux services écosystémiques plus ou moins directement liés au nombre d'arbres associés aux cacaoyers dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers. Il n'est donc pas

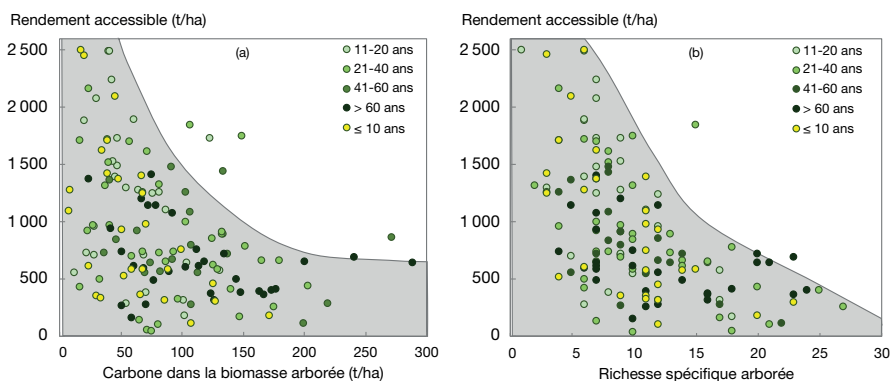
2. Surface terrière : surface de la section d'un arbre à hauteur de poitrine (130 cm). Ici, on a sommé les surfaces terrières du peuplement cacaoyer d'une parcelle échantillonnée. La surface terrière totale de la parcelle correspond à la somme de l'ensemble des arbres constituant la parcelle échantillonnée.



surprenant d'observer une relation positive entre ces deux services et, par conséquent, des évolutions de type synergétique entre stockage de carbone et nombre d'espèces associées ( $R^2 = 0,36$  et  $R^2 = 0,635$  en fonction de l'indice de richesse spécifique<sup>3</sup> ou de la diversité choisie). Cependant, cette relation n'est pas aussi simple qu'il y paraît. Comme elle dépend fortement de la nature et de la taille des individus associés aux cacaoyers, tous les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers étudiés ne rentrent pas dans ce schéma. Par rapport à la moyenne observée, certains intègrent des communautés d'espèces associées constituées de peu d'individus, mais de grande taille ; d'autres possèdent de nombreux individus, mais à la taille modeste. Ces cas démontrent que la synergie n'est pas forcément systématique et que certains choix dans la conduite technique des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers dissociant les deux services pourraient être effectués (Saj et Jagoret, 2017).

## Interactions entre rendement en cacao et stockage de carbone

Les rendements accessibles en cacao des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers sont négativement corrélés au stockage de carbone. Cette relation non linéaire présente une variabilité importante qui est fonction du niveau de stockage de carbone (fig. 6.3a). En effet, il apparaît d'une part que moins le stockage de carbone est important, plus la variabilité du rendement est importante. D'autre part, des rendements inférieurs à 1 t/ha de cacao marchand peuvent être obtenus assez indépendamment du niveau de stockage de carbone. Ainsi, l'obtention d'un rendement élevé ( $> 1,5$  t/ha) n'est possible que pour un niveau de stockage en carbone inférieur à 100-150 t C/ha. À *contrario*, un niveau de stockage supérieur à 150 t C/ha ne semble pas être compatible avec un rendement accessible supérieur à 750 kg/ha de cacao marchand. En d'autres termes, un rendement supérieur à 1,5 t/ha de cacao marchand n'est possible que lorsque la compétition avec les arbres se situe en deçà d'un certain seuil. Par ailleurs, il semble que dans les conditions actuelles de gestion, la durée maximum d'exploitation de ces systèmes plus simples soit d'environ 40 ans (Saj *et al.*, 2017b).



**Figure 6.3.** Évolution du rendement en cacao accessible en fonction (a) du carbone (C) de la biomasse arborée associée ; (b) de la richesse spécifique de la communauté arborée associée. Le fond gris représente l'espace dans lequel (a) 96 % ou (b) 98 % des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers étudiés se situent.

3. Richesse spécifique : nombre d'espèces par unité de surface.

La majorité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers échantillonnés sont dans une situation intermédiaire à celles décrites plus haut. Il apparaît donc que des marges de manœuvre importantes existent et pourraient être mobilisées dans l'objectif de mieux concilier rendement et stockage de carbone malgré une relation globalement négative.

## Interactions entre rendement en cacao et conservation des essences forestières

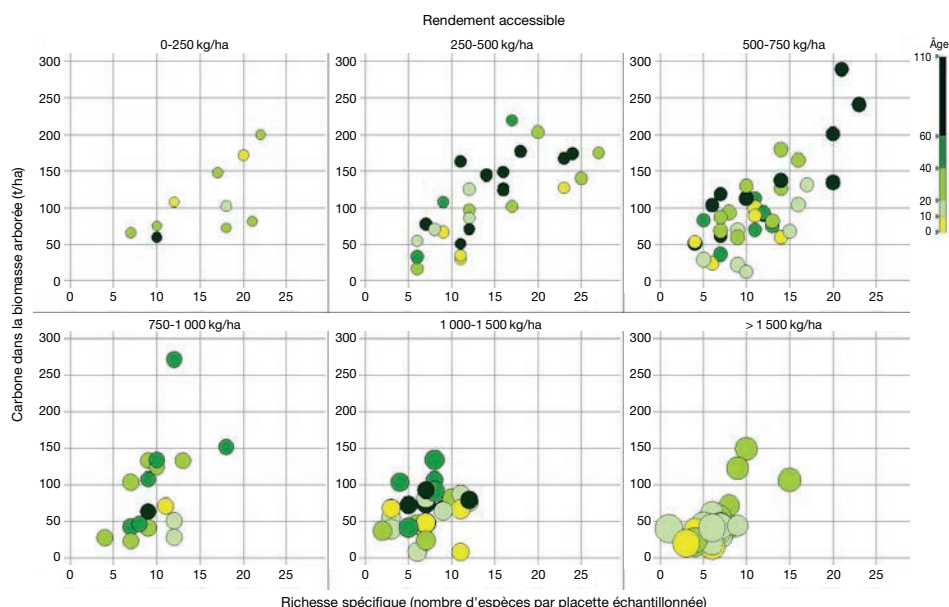
En ce qui concerne les capacités de conservation des espèces forestières au sein des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers, étudiées ici à partir de la richesse spécifique de la communauté associée, il y a également une relation négative avec le rendement accessible en cacao. De même que pour le stockage de carbone, il existe une très grande variabilité des niveaux de richesse spécifique pour un rendement donné. Des rendements supérieurs à 1 t/ha de cacao marchand ne semblent pas pouvoir être obtenus pour un nombre d'espèces associées supérieur à 10. Par contre, il semble possible d'atteindre des rendements de l'ordre de 750 kg/ha de cacao marchand pour des richesses spécifiques allant jusqu'à 20-23 espèces associées. Dès lors, une réflexion équivalente à celle effectuée sur le stockage de carbone peut être engagée pour une meilleure conciliation entre richesse spécifique et rendement.

Cependant, on doit prendre en compte la notion d'usage des espèces associées aux cacaoyers. En effet, comme démontré par Jagoret *et al.* (2014), le choix des essences associées est effectué par les agriculteurs en fonction des usages et des bénéfices qu'ils souhaitent en tirer. Les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers ayant maintenu les usages les plus traditionnels sont les systèmes les plus riches et les plus divers, mais leurs rendements en cacao sont les moins élevés. Au contraire, les systèmes montrant des usages des essences associées moins divers présentent des niveaux de rendement plus élevés (Saj *et al.*, 2017b). Enfin, comparativement au stockage de carbone, les marges de manœuvre apparaissent faibles pour des niveaux de richesses spécifiques élevés (fig. 6.3b). Ces niveaux sont liés à des densités d'arbres associés élevés généralement supérieures à 100 individus/ha, et donc à une compétition pour la ressource plus importante avec le peuplement cacaoyer.

## Interactions entre rendement en cacao, stockage de C et conservation des essences forestières

L'analyse des relations entre ces trois variables montre que le stockage de carbone et la conservation des espèces forestières semblent assez synergiques, alors que ces deux variables sont deux antagonistes au rendement accessible. La figure 6.4 présente ces relations en fonction des niveaux de rendements accessibles observés.

L'obtention de rendements supérieurs à 1,5 t/ha de cacao marchand n'est peu ou pas compatible avec des niveaux de stockage supérieurs à 100 t C/ha et une richesse spécifique supérieure à 10 espèces. Par ailleurs, ces rendements semblent difficilement atteignables au-delà de 40 ans de cacaoculture. Cela est vraisemblablement dû à la diminution des capacités productives des cacaoyers, voire de l'augmentation de la pression sanitaire dans le temps comme c'est le cas des mirides (Babin, 2009; Jagoret *et al.*, 2011).



**Figure 6.4.** Relations entre la richesse spécifique (abscisse) et le carbone dans la biomasse arborée (ordonnée) selon le rendement accessible (différents graphes et taille des points), et l'âge des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers (gradient de couleur).

## Le groupe 1 : rendements accessibles supérieurs à 1 t/ha de cacao marchand

Les niveaux moyens de stockage de carbone et de richesse spécifique sont comparables pour des rendements compris entre 1 t/ha et 1,5 t/ha de cacao marchand et semblent pouvoir être maintenus au-delà de 60 ans d'exploitation dans certains cas. Ces systèmes constituent le groupe 1 pour lequel des rendements accessibles seraient supérieurs à 1 t/ha de cacao marchand. Les objectifs seraient au minimum pour le stockage de carbone 80 kg C/ha et pour la conservation des espèces 10 espèces/ha sur le long-terme. Ce groupe 1 peut constituer un référentiel technique pour des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers que les agriculteurs souhaiteraient simples. Leurs arbres associés n'auraient que peu d'utilité autre que celle de l'ombrage et du maintien de la fertilité du sol.

## Le groupe 2 : rendements entre 750 kg/ha et 1 000 kg/ha de cacao marchand

Pour les parcelles dont le niveau de rendement en cacao est situé entre 750 kg/ha et 1 000 kg/ha, les niveaux de stockage de carbone paraissent plus importants que ceux du groupe 1. Mais ils ne sont pas clairement associés à des niveaux de richesse spécifique supérieurs. Ainsi, ces systèmes plus « stockeurs » que « conservateurs » pourraient former un second groupe (groupe 2). Dans ce groupe 2, la communauté associée comporte plus d'individus que dans le groupe 1. La compétition interspécifique y est plus importante pour les cacaoyers. Cette plus grande densité ne

semble pas être associée à plus d'usages que dans le groupe 1 et peut s'expliquer par une gestion différente de la croissance des cacaoyers, de la fertilité des sols et de la pression parasitaire. Ce groupe 2 peut constituer un référentiel technique pour des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers que les agriculteurs souhaitent toujours orientés vers une bonne production cacaoyère, mais dont les moyens sont plus limités que ceux du groupe 1. Les arbres associés n'auraient pas d'autre utilité que celle de l'ombrage et du maintien de la fertilité du sol. Les niveaux de stockage de carbone sur le long terme pouvant être visés par ce groupe 2 seraient compris entre 100 et 150 t C/ha pour un niveau minimum 10 espèces/ha.

### Le groupe 3 : rendements accessibles inférieurs à 750 kg/ha de cacao marchand

Pour les rendements accessibles inférieurs à 750 kg/ha, il apparaît que la variation du niveau de stockage de carbone s'accompagne d'une variation de la richesse spécifique. La répartition entre classes d'âges de la cacaoyère semble être assez similaire entre les niveaux de rendement 250-500 et 500-750 kg/ha de cacao marchand. Ainsi, ce groupe 3 des systèmes agroforestiers, à base de cacaoyers à faible rendement, comporte aussi des systèmes moins performants que ceux des groupes 1 et 2 pour les trois variables étudiées. Cette diversité de situations est le reflet de l'hétérogénéité de structure et de gestion de la communauté des espèces d'arbres associées. Par ailleurs, on remarque qu'au sein de ce groupe, de nombreuses cacaoyères présentent des niveaux de stockage de carbone et de richesse spécifique équivalents à ceux des groupes 1 et 2, associés à des niveaux de rendements accessibles relativement faibles. Ce constat questionne la gestion de ces systèmes et souligne un besoin d'accompagnement des agriculteurs pour améliorer ces niveaux.

## » Conclusion

Les résultats présentés dans ce chapitre démontrent la complexité des liens entre production, conservation et stockage de carbone dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre-Cameroun. Ils soulignent une claire synergie entre les deux services de régulation et l'antagonisme de ces derniers avec le rendement accessible en cacao. L'analyse des compromis entre ces trois services a permis de dégager trois groupes de systèmes agroforestiers à base de cacaoyers dans l'échantillonnage effectué :

- le premier groupe est composé de systèmes plutôt simples avec des rendements supérieurs à 1 t/ha de cacao marchand. Il permettrait d'obtenir à moyen terme des niveaux de stockage de carbone et de richesse spécifique faibles à moyens pouvant atteindre respectivement 80-100 t C/ha et 10 espèces/ha ;
- le deuxième groupe est constitué de systèmes dont la densité de la communauté associée, un peu plus importante, entraîne une compétition avec le peuplement cacaoyer accrue et n'autorise plus que des rendements compris entre 750 et 1 000 kg/ha. Ces systèmes, à la richesse spécifique équivalente à ceux du groupe 1, semblent pouvoir atteindre des niveaux de stockage de carbone plus élevés à long terme situés au-delà des 100 t C/ha, voire 150 t C/ha ;

– le troisième groupe rassemble des systèmes plus hétérogènes. Ces systèmes semblent les plus prometteurs concernant les services de régulation étudiés en montrant des potentialités de rendements plus faibles compris entre 500 et 750 kg/ha de cacao marchand. Les parcelles sont composées de plus de 15 espèces différentes et stockent plus de 150 t C/ha. Ce groupe comporte également des systèmes dont tous les niveaux de services sont faibles, démontrant la nécessité d’une amélioration de leur gestion.

Dans certains pays, l’incompatibilité présumée entre les objectifs agronomiques, économiques et écologiques des systèmes agroforestiers favorise ou a favorisé l’émergence de mécanismes de paiement pour services environnementaux. Leur objectif est de soutenir, au moins en partie, des systèmes moins ou peu intensifs en se concentrant sur la rétribution d’externalités positives jusqu’alors ignorées (Rapidel *et al.*, 2011). Ces mécanismes semblent intéressants du fait des niveaux de services relevés pour les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre-Cameroun. Cependant, avant une quelconque mise en place de paiements pour services environnementaux, il sera nécessaire d’étudier avec une méthodologie adaptée les compromis entre les services que l’on souhaite rétribuer afin de déterminer les niveaux souhaitables et atteignables (Andreotti *et al.*, 2018; Rapidel *et al.*, 2015). Il sera également nécessaire de travailler à la forme des paiements pour services environnementaux la plus acceptable socialement et économiquement par les populations concernées.

## ► Bibliographie

- Abada Mbololo M.M., Zekeng J.C., Mala W.A., Fobane J.L., Djomo Chimi C., Ngavounsia T., Nyako C.M., Menyene L.F.E., Tamanjong Y.V., 2016. The role of cocoa agroforestry systems in conserving forest tree diversity in the Central region of Cameroon. *Agroforestry systems*, 90: 577-590.
- Andreotti F., Mao Z., Jagoret P., Speelman E.N., Gary C., Saj S., 2018. Exploring management strategies to enhance the provision of ecosystem services in complex smallholder agroforestry systems. *Ecological indicators*, 94 : 257-265.
- Agter, 2012. Carte du domaine forestier du Cameroun, Août 2012, d’après le travail de cartographie du World resources institute. [www.agter.org/bdf/fr/corpus\\_chemin/fiche-chemin-124.html](http://www.agter.org/bdf/fr/corpus_chemin/fiche-chemin-124.html) (consulté le 09/03/2017).
- Babin R., 2009. Contribution à l’amélioration de la lutte contre le miride du cacaoyer *Sahlbergella singularis* Hagl. (Hemiptera : Miridae). Influence des facteurs agroécologiques sur la dynamique des populations du ravageur. Thèse de doctorat, Université Montpellier III-Paul Valéry, France, 202 p.
- Cleaver K., 1992. Deforestation in the western and central African rainforest: the agricultural and demographic causes, and some solutions. In: Cleaver K., Munasinghe M., Dyson M., Egli N., Penker A., Wencelius F. (eds). *Conservation of west and central African rainforests*. Washington: World bank, IUCN, 65-78.
- Clough Y., Faust H., Tschernak T., 2009. Cacao boom and bust: sustainability of agroforests and opportunities for biodiversity conservation. *Conservation letters*, 2(5): 197-205.
- Iceo, 2016. Iceo annual report 2013/2014.
- Jagoret P., Todem Ngnogue H., Bouambi E., Battini J.L., Nyassé S., 2009. Diversification des exploitations agricoles à base de cacaoyer au Centre Cameroun : mythe ou réalité ? *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*, 13(2) : 271-280.

- Jagoret P., 2011. Analyse et évaluation de systèmes agroforestiers complexes sur le long terme : application aux systèmes de culture à base de cacao au Centre-Cameroun. Thèse de doctorat. Montpellier SupAgro, France. 288 p.
- Jagoret P., Kwasie J., Messie C., Michel-Dounias I., Malézieux E., 2014. Farmers' assessment of the use value of agrobiodiversity in complex cocoa agroforestry systems in central-Cameroon. *Agroforestry systems*, 88: 983-1000.
- Jagoret P., Michel-Dounias I., Malézieux E., 2011. Long-term dynamics of cocoa agroforests: a case study in central Cameroon. *Agroforestry systems*, 81: 267-278.
- Jagoret P., Snoeck D., Bouambi E., Todem Ngnogue H., Nyassé S., Saj S., 2018. Key management practices keeping cacao agroforestry systems effective on the very long-term: evidences brought by long-lived plantations of Central-Cameroon. *Agroforestry systems*, 92: 1185-1199.
- Pédélahore P., 2012. Stratégies d'accumulation des exploitants agricoles : l'exemple des cacaoculteurs du Centre Cameroun de 1910 à 2010. Université Toulouse II Le Mirail, Toulouse, p. 443.
- Rapidel B., Le Coq J.F., DeClerck F.A.J., Beer J., 2011. Measurement and payment for ecosystem services from agriculture and agroforestry: new insights from the neotropics. In: Rapidel B., Le Coq J.F., DeClerck F.A.J., Beer J., eds. *Ecosystem services from agriculture and agroforestry: measurement and payment*. Londres, Royaume-Uni: Earthscan, p. 377-396.
- Rapidel B., Ripoche A., Allinne C., Metay A., Deheuvels O., Lamanda N., Blazy J.M., Valdes-Gomez H., Gary C., 2015. Analysis of ecosystem services trade-offs to design agroecosystems with perennial crops. *Agronomy for sustainable development*, 35: 1373-1390.
- Ruf F., 1995. *Booms et crises du cacao. Les vertiges de l'or brun*. Paris: Karthala, 459 p.
- Saj S., Jagoret P., 2017. Traditional cacao agroforestry in Central-Africa can provide both respectable yields and levels of ecosystem services. In: *Icco (ed.) International symposium on cocoa research (ISCR)*. Lima: Icco.
- Saj S., Durot C., Mvondo-Sakouma K., Tayo Gamou K., Avana-Tientcheu M.L., 2017a. Contribution of companion trees to long-term tree conservation, carbon storage and agroforest sustainability: a functional analysis of the diversity in cacao plantations of Central Cameroon. *International journal of agricultural sustainability*, 15(3): 282-302.
- Saj S., Jagoret P., Etoa L.E., Fonkeng E.E., Tarla J., Essobo J.D., Mvondo-Sakouma K., 2017b. Lessons learned from long term analysis of cocoa yield and stand structure in agroforestry systems of Central-Cameroon. *Agricultural systems*, 156: 95-104.
- Saj S., Jagoret P., Todem Ngogue H., 2013. Carbon storage and density dynamics of associated trees in three contrasting Theobroma cacao agroforests of Central-Cameroon. *Agroforestry systems*, 87: 1309-1320.
- Somarrriba E., Lachenaud P., 2013. Successional cocoa agroforests of the Amazon-Orinoco-Guiana shield. *Forests, trees and livelihoods*, 22(1): 51-59.